

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum  
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum  
30. Oktober 2003 (30.10.2003)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
WO 03/089185 A1

(51) Internationale Patentklassifikation<sup>7</sup>: B23K 26/14,  
28/02, 9/095, 10/00, 10/02, 26/06

ZUR FÖRDERUNG DER ANGEWANDTEN  
FORSCHUNG E.V. [DE/DE]; Leonrodstrasse 68,  
80636 München (DE).

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE03/01302

(72) Erfinder; und

(22) Internationales Anmeldedatum:  
17. April 2003 (17.04.2003)

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): PETRING, Dirk  
[DE/NL]; Feldbiss 125, NL-6462 AE Kerkrade (NL).

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(74) Anwälte: FÜSSEL, Michael usw.; Lösnsstrasse 55, 42289  
Wuppertal (DE).

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:  
102 17 678.7 19. April 2002 (19.04.2002) DE

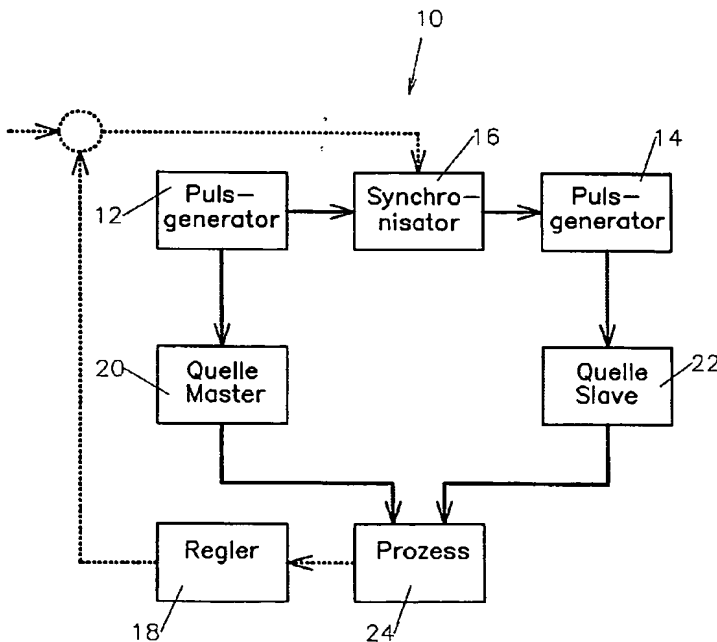
(81) Bestimmungsstaaten (national): AE, AG, AI, AM, AT,  
AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR,  
CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE,  
GH, GM, GR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR,  
KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK,  
MN, MW, MX, MY, NZ, OM, PI, PL, PT, RO, RU,

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Aus-  
nahme von US): FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: LASER MATERIAL MACHINING USING HYBRID PROCESSES

(54) Bezeichnung: LASER-MATERIALBEARBEITUNG MIT HYBRIDEN PROZESSEN



12/14 PULSE GENERATOR  
16 SYNCHRONIZER  
20 SOURCE MASTER  
22 SOURCE SLAVE  
18 REGULATOR  
24 PROCESS

(57) Abstract: The invention relates to a method for machining materials by combining one machining tool (20) with at least one additional machining tool (22), whereby at least one machining tool uses laser illumination. According to said method, a synchronized modulation (16) of the first machining tool (20, 22) is carried out during the combination with the likewise pulse-modulated additional machining tool (22, 20).

(57) Zusammenfassung: Bei einem Verfahren zur Bearbeitung von Werkstoffen durch Kombinieren eines Bearbeitungswerkzeugs (20) mit mindestens einem weiteren Bearbeitungswerkzeug (22), wobei mindestens ein Bearbeitungswerkzeug Laserstrahlung verwendet, wird eine synchronisierte Modulation (16) des einen Bearbeitungswerkzeugs (20, 22) bei der Kombination mit dem ebenfalls pulsmodulierten weiteren Bearbeitungswerkzeug (22, 20) durchgeführt.

WO 03/089185 A1



SD, SE, SG, SK, SL, TJ, TM, TR, TT, TZ, UA, UG, US,  
UZ, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

- (84) **Bestimmungsstaaten (regional):** ARIPO-Patent (GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches Patent (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches Patent (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI-Patent (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

**Veröffentlicht:**

- mit internationalem Recherchenbericht
- vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen eintreffen

*Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.*

5

10

Laser-Materialbearbeitung mit hybriden Prozessen

15

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Bearbeitung von Werkstoffen durch Kombinieren eines Bearbeitungswerkzeugs mit mindestens einem weiteren Bearbeitungswerkzeug, wobei mindestens ein Bearbeitungswerkzeug Laserstrahlung verwendet.

20

Derartige Verfahren und Vorrichtungen zur Materialbearbeitung, bei der mindestens ein Bearbeitungswerkzeug in Form eines Laserstrahls in Kombination mit anderen Bearbeitungswerkzeugen, zum Beispiel Laserstrahlen und/oder Lichtbögen und/oder Plasmastrahlen und/oder einem oder mehrerer anderen Energie- oder Teilchenstrahlen eingesetzt wird, zum Beispiel Flamme, spanende Werkzeuge, Wasserstrahl, Elektronenstrahl sind bekannt. Als repräsentative Beispiele können hierzu die Veröffentlichungen, Schutzrechtsanmeldungen und Schutzrechte des Fraunhofer ILT zum sogenannten Laser-Lichtbogen Hybrid-schweißen herangezogen werden.

Die Hybridtechnik beruht dabei auf der Kombination des Laserstrahlschweißens mit dem Metallschutzgasschweißen, im folgenden MSG genannt, also dem Metall-Inert-Gas-, im folgenden MIG genannt, oder Metall-Aktiv-Gas-Schweißen, im folgen-

den MAG genannt oder mit dem Wolfram-Inert-Gasschweißen, im folgenden WIG genannt.

Dazu wird auf folgende Schutzrechte verwiesen:

5

- Düsenanordnung zum gleichzeitigen Schweißbearbeiten mit einem Laserstrahl und mit einem Lichtbogen (DE 196 27 803 C1);
- Verfahren zum Verschweißen von Werkstücken (DE 195 00 512);
- Verfahren zum Schweißen von Werkstücken mit Laserstrahlung (EP 0 800 434 B1).

10

15

Bei den folgend aufgeführten Beispielen bezüglich des Standes der Technik wird die Tiefschweißwirkung der fokussierten Laserstrahlung mit zusätzlicher Energie und im Falle des Schutzgasschweißens auch mit zusätzlicher Werkstoffzugabe aus einem Lichtbogen kombiniert. Zusatzenergie und gegebenenfalls Zusatzwerkstoff dienen zum Beispiel zur Überbrückung von Fügespalten oder zum Ausgleich von Kantenversatz. Der Wirkungsgrad, die Produktivität und die Qualität des Hybridprozesses sind den Eigenschaften der Einzelprozesse überlegen.

25

Eine weitere Möglichkeit nutzt die Kombination unterschiedlicher Laserstrahlquellen, zum Beispiel stark fokussierte CO<sub>2</sub>-Laserstrahlung mit Diodenlaserstrahlung größerer zum Beispiel linien- oder ringförmiger Wirkflächen, um ein Vor- oder Nachwärmen des Gutes oder eine Vergrößerung des Schmelzvolumens und dadurch dessen bessere Entgasung zu erreichen, siehe zum Beispiel S. Bouss, B. Brenner, E. Beyer: Innovations in laser hybrid technology, Industrial Laser Solutions, January 2001, Penn Well. Des weiteren nutzt ein Patent des Fraunhofer ILT zum Abrand-stabilisierten Brenn-

30

35

schneiden die Kombination von mehreren Laserstrahlen oder die Kombination von Laserstrahlung mit anderen Energiequellen aus (DE 41 15 561 C2).

- 5        Ferner verwenden sowohl Verfahren der Lasermaterialverarbeitung als auch Lichtbogenprozesse, zum Beispiel MIG/MAG oder WIG zur Zeit bei alleiniger Verwendung für die Materialbearbeitung oder auch in hybrider Kombination mit anderen Werkzeugen teilweise bereits die Möglichkeit der Pulsmodulation zur zeitlichen Steuerung des Bearbeitungsprozesses. Bestimmte Laserquellentypen verfügen allerdings gar nicht über einen Dauer-Betrieb, sondern sind nur im Pulsbetrieb einsetzbar.
- 10
- 15        Eine Pulsmodulation von Strahlungs-, Lichtbogen-, Plasma- oder anderen Energie-, Impuls- oder Teilchenquellen, zum Beispiel Flamme, spanende Werkzeuge, Wasserstrahl, Elektronenstrahl dienen bei den Einzelverfahren zum Beispiel:
- 20        - der gezielten Beeinflussung der Wechselwirkungszeit,  
- der dosierten und portionsweisen Energieeinbringung,  
- dem dosierten, portionsweisen Materialabtrag (zum Beispiel beim Perkussionsbohren),  
- der schonenden Materialbearbeitung mit reduzierter
- 25        Wärmeeinflußzone durch die Verwendung kurzer Pulsan- und langer Pulsauszeiten,  
- der sicheren Tropfenablösung (MSG),  
- dem verbesserten Materialübergang (MSG),  
- der Spritzerminimierung (MSG),
- 30        - der Prozeßstabilisierung in ansonsten instabilen Arbeitsbereichen, zum Beispiel exotherme Überreaktion beim Brennschneiden mit Wärmestau, unruhiger Übergangs-Lichtbogen beim Schutzgasschweißen im mittleren Stromstärkebereich,
- 35        - der Erhöhung der Energiestromdichte im Puls bei gegenüber dem Dauer-Betrieb verminderter oder gleicher

- mittlerer Stromdichte und Streckenenergie, und
- der kurzzeitigen Erhöhung der Prozeßtemperatur und/oder des Verdampfungsanteils in der Wechselwirkungszone.

5

Bei den bisherigen bekannten Techniken wird vor allem die eingeschränkte Beeinflußbarkeit des Kopplungsgrades der einzelnen Verfahren bei der Kombination zu einem Hybridverfahren als nachteilig empfunden.

10

Bisher wird zur Festlegung des Kopplungsgrades vor allem der Abstand bzw. der Überlappungsgrad der Wirkbereiche genutzt. Um zum Beispiel die Kopplung von Laserstrahlen und Lichtbogen zu verstärken, werden ihre Fußpunkte auf dem Werkstück angenähert. Um sie zu unterdrücken, werden die Fußpunkte voneinander entfernt. Dabei wird aber gleichzeitig die Größe und Form der Wechselwirkungsgeometrie und die effektive Einwirkzeit verändert, was in bestimmten Fällen sehr nachteilig sein kann. Einige Beispiele werden dies nun näher erläutern.

20

Gerade beim Einsatz von CO<sub>2</sub>-Lasern ist auf die Vermeidung einer Plasmaabschirmung der Laserstrahlung im Lichtbogen oder Plasma zu achten. Gleichzeitig wird aber eine Führung und/oder Konzentration des Lichtbogens durch den fokussierten Laserstrahl angestrebt. Damit liegen sich einander negativ beeinflussende Ziele vor.

25

Ähnliches kann für die Kombination, zum Beispiel hinsichtlich der Wellenlänge unterschiedlicher Laserstrahlungen gelten, wenn zum Beispiel eine starke Kopplung einerseits zur Ausnutzung der absorbtionserhöhenden Wirkung auf dem Werkstück vorteilhaft ist, zum Beispiel durch die Erzeugung von periodischen Oberflächenstrukturen, andererseits aber eine zu starke Kopplung zur Störung zumindest eines der Verfahren führt, zum Beispiel dadurch, daß dessen Laserstrahlung im

30

35

durch die andere Laserstrahlung entstehenden Materialdampf oberhalb des Werkstücks absorbiert oder gestreut wird.

Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren bzw. eine Vorrichtung der Eingangs genannten Arten anzugeben, die es ermöglichen, mit technisch einfachen Mitteln den Kopplungsgrad und gegebenenfalls auch die Kopplungsart bei der Wirkung der Einzelverfahren in der eingesetzten Hybridtechnik gezielt und variabel auf elektronischem Wege einstellbar zu gestalten.

Diese Aufgabe wird bei einem Verfahren der eingangs genannten Art erfindungsgemäß dadurch gelöst, daß eine synchronisierte, also synchrone oder asynchrone, Modulation des einen Bearbeitungswerkzeugs bei der Kombination mit dem ebenfalls pulsmodulierten weiteren Bearbeitungswerkzeug durchgeführt wird.

Mit der Erfindung wird daher der Kopplungsgrad und gegebenenfalls auch die Kopplungsart bei der Wirkung der Einzelverfahren in der eingesetzten Hybridtechnik gezielt und variabel auf elektronischem Wege ohne mechanische Verstellungen am Werkzeug einstellbar, vor allem ohne zwangsläufig auf eine Veränderung des örtlichen Abstandes der Wechselwirkungsbereiche der Einzelverfahren auf oder im Werkstück angewiesen zu sein und ohne auf aus anderen Gründen vorteilhafte Abstandseinstellungen, zum Beispiel den Abstand 0, verzichten zu müssen. Die Werkzeugbestandteile, sind dadurch gezielt synchronisiert.

Gemäß einer Ausführungsform der Erfindung ist es vorgesehen, daß das eine Bearbeitungswerkzeug und das mindestens eine weitere Bearbeitungswerkzeug mit gleicher oder mit relativ zueinander ganzzahlig vielfacher Pulsfrequenz moduliert werden und ihre Pulsmodulationen in einer festen oder variabel gesteuerten oder geregelten Phasenbeziehung stehen.

Eine besonders einfache Steuerung der Modulation ist dann gegeben, wenn die Pulssteuersignale mindestens eines pulsmodulierten Bearbeitungswerkzeugs als Mastersignal verwendet wird zur Triggerung einer synchronisierten Ansteuerung der Pulsmodulation mindestens eines weiteren Bearbeitungswerkzeugs im Slavebetrieb.

Damit schneller und auch einfacher auf Änderungen im Prozeßablauf und auch für die Eingabe reagiert werden kann, ist es vorteilhaft, wenn die Phasenbeziehung in Abhängigkeit von und/oder zur Beeinflussung einer oder mehrerer Prozeßparameter und/oder in Abhängigkeit von Sensorsignalen gesteuert und/oder geregelt wird.

Eine weitere Ausführungsform der Erfindung sieht vor, daß eine gleichphasige Synchronisation durchgeführt wird. Es ist aber auch möglich, daß eine gegenphasige Synchronisation durchgeführt wird.

Eine besonders einfache Synchronisation kann dann erreicht werden, wenn der Slavepuls am Anfang oder am Ende des Masterpulses oder umgekehrt erzeugt wird.

Ferner ist es vorgesehen, daß Einzelpulse oder Pulspakete erzeugt werden.

Weiterhin ist es vorteilhaft, wenn die gegebenenfalls nicht extern, das heißt nicht von außerhalb der Werkzeugquellensteuerung, ansteuerbare Strahlung bzw. das Bearbeitungswerkzeug oder das intern mit variabler Pulsfrequenz prozeßgeregelter Bearbeitungswerkzeug der Master ist. Letzteres ist beispielsweise für modernere digitale Stromquellen von Lichtbogenprozessen oder rotierende, spanend bearbeitende Werkzeuge wie zum Beispiel Fräsköpfe, deren Drehfrequenz hier als Pulsfrequenz zu verstehen ist, anwendbar.

Außerdem ist es vorgesehen, daß das weitere Bearbeitungswerkzeug eine Lasereinrichtung und/oder eine Lichtbogenstrahlungseinrichtung und/oder eine Plasmastrahlungseinrichtung und/oder eine oder mehrere andere Energie-, Impuls- oder Teilchenquelle ist.

Ein weiteres vorteilhaftes Verfahren ist dadurch gegeben, die Bearbeitung von Werkstoffen aus der folgenden Auflistung auswählbar ist:

- Trenn- und Abtragverfahren, insbesondere Schneiden, Bohren, Abtragen, Perforieren, Ritzen, Gravieren, Strukturieren oder Reinigen,
- Fügeverfahren, insbesondere Schweißen, Löten oder Bonden,
- Beschichtungs- und Aufbauverfahren, insbesondere Beschichten, Generieren, selektives Sintern oder Rapid Prototyping,
- Oberflächenbehandlung und -Veredelung, insbesondere Härten, Umschmelzen, Legieren, Dispergieren, Polieren und Beschriften, Formen und Biegen,

wobei die Kombination der Bearbeitungswerkzeuge derart gestaltet ist, daß ihre Wirkungsbereiche, die gegebenenfalls Wirkungen unterschiedlichster Art ausgesetzt sind, auf oder im Werkstück während des Bearbeitungsvorganges überlappen oder unmittelbar benachbart sind.

Des weiteren wird die Aufgabe für eine Vorrichtung der eingangs genannten Art erfindungsgemäß gelöst, durch einen ersten Pulsgenerator zur Modulation der Laserstrahlung, einen zweiten Pulsgenerator zur Modulation des weiteren Bearbeitungswerkzeugs und durch einen Synchronisator zur synchronen Modulation der Kombination.

Vorteilhafte Ausführungsformen dieser erfindungsgemäßen Vorrichtung sind in den weiteren Unteransprüchen angegeben.

Da diese im wesentlichen den das Verfahren weiterbildenden Unteransprüchen entsprechen, wird auf detaillierte Beschreibung derselben verzichtet.

5        Weitere Merkmale und Vorteile der Erfindung ergeben sich aus der folgenden Beschreibung mehrerer Ausführungsbeispiele sowie aus den Figuren, auf die Bezug genommen wird. Es zeigen:

10        Fig.1 ein Blockdiagramm einer Master-Slave-Triggerung für die Synchronisation der Pulsmodulation mit fester bzw. geregelter Phasenbeziehung; und  
         Fig.2 mehrere Diagramme als Beispiele für charakteristische Phasenbeziehungen bei synchronisierter  
15        Pulsmodulation für Hybridverfahren.

         Anhand der Fig.1 und 2 werden nunmehr Verfahren und Vorrichtungen zur Hybridbearbeitung von Werkstoffen durch Kombinieren eines Bearbeitungswerkzeugs mit mindestens einem weiteren Bearbeitungswerkzeug, wobei mindestens ein Bearbeitungswerkzeug Laserstrahlung verwendet.

         In Fig.1 ist schematisch eine Vorrichtung 10 zur hybriden Bearbeitung von Werkstoffen durch ein Bearbeitungswerkzeug in Kombination mit mindestens einem weiteren Bearbeitungswerkzeug dargestellt. Die Vorrichtung 10 enthält in dem gezeigten Ausführungsbeispiel einen ersten Pulsgenerator 12 zur Modulation einer Laserstrahlung als ein Bearbeitungswerkzeug. Des weiteren enthält die Vorrichtung 10 einen zweiten  
25        Pulsgenerator 14 ebenfalls zur Modulation des weiteren Bearbeitungswerkzeugs.  
30

         Zwischen dem ersten Pulsgenerator 12 und dem zweiten Pulsgenerator 14 ist ein Synchronisator 16 zwischengeschaltet, der bei der in Fig.1 gezeigten Vorrichtung 10 Ausgabewerte des ersten Pulsgenerators 12 erhält und wiederum Ausga-  
35

bewerte dem zweiten Pulsgenerator 14 eingibt. Des weiteren erhält der Synchronisator 16 Eingabewerte, die in Fig.1 mit einer punktierten Linie dargestellt sind.

5        Ferner gibt der erste Pulsgenerator 12 auch Ausgabewerte einer ersten Quelle 20 ein, die im gezeigten Ausführungsbeispiel als Mastersignal verwendet wird. In einigen Fällen kann es aber vorteilhafter sein, die Quelle 22 des weiteren Bearbeitungswerkzeugs als Master zu verwenden.

10

In ähnlicher Art und Weise gibt der zweite Pulsgenerator 14 einer zweiten Quelle 22 Ausgabewerte ein, die in dem gezeigten Ausführungsbeispiel als Slave-Signal bzw. für den Slave-Betrieb verwandt wird.

15

Es werden also mittels der ersten und der zweiten Quelle 20 und 22 Pulssteuersignale des mindestens einen Pulsgenerators 12 als Mastersignal verarbeitet zur Triggerung einer synchronen Ansteuerung der Pulsmodulation der Pulssteuersignale des mindestens einen weiteren Pulsgenerators 14 im Slave-Betrieb.

Wie in Fig.1 angedeutet, gibt es Eingabeeinrichtungen für Prozeßparameter sowie Sensoren für Prozeßergebnisse zur Steuerbarkeit und/oder Regelbarkeit der Phasenbeziehung in Abhängigkeit und/oder zur Beeinflussung eines oder mehrerer Prozeßparameter und/oder in Abhängigkeit von Sensorsignalen.

25        Die jeweiligen Ausgabesignale der ersten Quelle 20 und der zweiten Quelle 22 werden für den Prozeßbetrieb verwandt, was in Fig.1 in dem Kasten "Prozeß" mit den Bezugszeichen 24 angedeutet ist.

30        Die oben erwähnten Sensorsignale werden einem Regler 18  
35        zugeführt, der wiederum mit einer Eingabeeinrichtung und so-

mit darüber auch wieder mit dem Synchronisator 16 verbunden ist.

Die ersten und zweiten Pulsgeneratoren 12 und 14 und der Synchronisator 16 sind daher dazu ausgelegt, die Laserstrahlung und das mindestens eine weitere Bearbeitungswerkzeug relativ zueinander ganzzahlig vielfache Pulsfrequenz zu modulieren und die Pulsmodulationen der ersten und zweiten Puls-  
generatoren 12 und 14 in einer festen oder mittels des Reg-  
lers 18 in eine variabel gesteuerte oder geregelte Phasenbe-  
ziehung zu stellen.

Unter anderem kann der Synchronisator 16 für eine gleichphasige Synchronisation ausgelegt sein. Es ist aber auch möglich, den Synchronisator 16 für eine gegenphasige Synchronisation auszulegen. Schließlich besteht noch die Möglichkeit, den Synchronisator 16 für eine Erzeugung des Slave-Pulses am Anfang oder am Ende des Masterpulses oder umgekehrt zu verwenden.

20

Dabei können die ersten und zweiten Pulsgeneratoren 12 und 14 so ausgelegt sein, daß sie Einzelpulse und/oder Puls-  
pakete erzeugen können.

In Fig.2 sind mehrere Diagramme als Beispiele für charakteristische Phasenbeziehungen bei synchronisierter Pulsmodulation im Hybridverfahren dargestellt. Das mit a) bezeichnete Diagramm stellt dabei die Modulation des Masters dar. Das Diagramm b) gibt die gleichphasige Slave-Modulation wie-  
der.

30

Wie sich aus dem Diagramm c) ergibt, ist es auch möglich, die Slave-Modulation mit geringer Phasenverschiebung, in diesem Fall um  $t_c$  verschoben, zu verwenden. Dies be-  
deutet ein endlicher zeitlicher Überlapp der Pulsanzeiten, das kann aber auch bei kürzerer Pulsanzeit des Slave einen

35

gemeinsamen Pulsabfallzeitpunkt mit dem Master bedeuten. Schließlich gibt das Diagramm d) eine gegenphasige Slave-Modulation wieder. Dabei ergibt sich kein zeitlicher Überlapp der Pulse, die Pulse können aber auch in direkter Folge verlaufen. Bei dem Diagramm d) besteht eine Phasenverschiebung von  $t_d$ .

Generell kann also gesagt werden, daß eine gezielte Einstellung des Prozeßzyklus durch angepaßte Synchronisation möglich ist. Beispiele für den Prozeßzyklus sind Temperatur-, Eigenspannungs-, Reaktions-, Materialauftrags-, Materialabtrags-, Materialverbindungs-, Materialtrennungs- sowie Phasenumwandlungs-Zeitverläufe.

Eine starke Kopplung, also eine gleichphasig synchronisierte Pulsmodulation, bewirkt eine Verbesserung des Tieferschweißeffektes des Lasers, eine Verbesserung des Pinch-Effektes zur Tropfenablösung des MIG Prozesses sowie eine Verbesserung der Lichtbogenführung und -Kontraktion durch den fokussierten Laser.

Eine Entkopplung, also eine gegenphasig synchronisierte Modulation, wirkt sich vorteilhaft aus für eine Verhinderung der Laserstrahlabschirmung und/oder -Streuung und/oder -Brechung im Lichtbogenplasma. Die zeitliche Trennung und damit Entstörung von Kapillarausbildung und Tropfenablösung mit Werkstoffübergang beim Laser-MIG-Hybridschweißen sind dabei ebenfalls möglich.

Es ist aber auch eine angepaßte Kopplung, also eine gezielte Phasenverschiebung der synchronen Pulsmodulation des einen Werkzeugbestandteils bzw. der einen Strahlung erreichbar. Beispiele dafür sind schwellenabhängige Teilprozesse, die erst nach Erreichen oder Überschreiten einer Prozeßschwelle durch den Vorpuls des anderen Werkzeugbestandteils bzw. der mindestens einen weiteren Strahlung mit dem entspre-

chend phasenverzögerten Nachpuls effektiv zur Wirkung kommen. Die Phasenverzögerung wird dabei variiert zur Optimierung von Wirkungsart, Wirkungsgrad, Produktivität, Stabilität sowie Qualität des Hybridprozesses.

5

Das weitere Bearbeitungswerkzeug kann eine Laserstrahlung und/oder eine Lichtbogenstrahlung und/oder eine Plasmastrahlung und/oder eine oder mehrere andere Energie-, Impuls- oder Teilchenquellen sein.

10

Es werden nun einige Wirkungen beschrieben, und zwar der Vorpulsung durch einen Laser, der Vorpulsung durch einen Lichtbogen- oder Plasmastrahl sowie einer Nachpulsung.

15 Die Wirkungen der Vorpulsung durch einen Laser sind:

- Vorwärmen, zum Beispiel zur besseren Benetzbarkeit von Werkstoffen oder zur metallurgischen Einstellung des Prozesses,
- 20 - Reinigen,
- Entschichten,
- Vorionisieren,
- chemische Aktivierung,
- Vorschmelzen (Vorprozeß).

25

Die Wirkungen und Auswirkungen der Vorpulsung durch einen Lichtbogen oder einen Plasmastrahl sind:

- Vorwärmen,
- 30 - Absorptionserhöhung für den Laserstrahl durch Oberflächenveränderung, zum Beispiel durch Ändern der Temperatur, Struktur, des Materials und/oder durch eine chemische Reaktion,
- Absorptionserhöhung für den Laserstrahl durch Veränderung der oberflächennahen Atmosphäre und damit des relativen Brechungsindex,
- 35

- portionierte Energie- und Materialzufuhr, zum Beispiel zur Überbrückung von Fügespalten.

5 Eine Nachpulsung kann folgende Wirkungen bzw. Auswirkungen haben:

- Nachwärmen,
- Oberflächenfinish durch Energie- oder Materialzufuhr,
- Entgasen der Schmelze beim Schweißen und Beschichten,
- 10 - Materialabtrag oder Materialverbindung nach Vorbereitung durch einen Vorpuls,
- chemische Reaktion, zum Beispiel Verbinden oder Trennen, nach einer Vorbereitung durch einen Vorpuls.

15 Ferner ist es möglich, folgende Größen zu modulieren:

- Leistung,
- Strom,
- Spannung,
- 20 - Geschwindigkeit, zum Beispiel des Drahtvorschubes des Zusatzstoffes bzw. der abschmelzenden Elektrode,
- Frequenz.

25 Dabei können die Parameter der Modulation folgender Art sein:

- Grundniveau,
- Pulsfrequenz,
- Pulslänge, Pulspause oder Tastverhältnis,
- 30 - Pulsspitzenwert,
- Haltezeit für den Pulsspitzenwert,
- zeitlicher Verlauf des Pulsanstieges,
- zeitlicher Verlauf des Pulsabfalls.

35 Mit der Erfindung wird also der Kopplungsgrad und gegebenenfalls auch die Kopplungsart bei der Wirkung der Einzel-

verfahren mit der eingesetzten Hybridtechnik erzielt und variabel auf elektronischem Weg ohne mechanische Verstellungen am Werkzeug einstellbar. Vor allem ohne zwangsläufig auf eine Veränderung des örtlichen Abstandes der Wechselwirkungsbereiche der Einzelverfahren auf oder im Werkstück angewiesen zu sein und ohne auf die aus anderen Gründen vorteilhafte Abstandseinstellungen, zum Beispiel den Abstand 0, verzichten zu müssen. Es ist des weiteren möglich, wo es vorteilhaft ist, die Kopplung sogar über den Grad hinaus, der bereits allein durch vollständige Überlappung der Wechselwirkungszonen bzw. bei identischem Fußpunkt der Einzelprozesse auf oder in dem Werkstück gegeben ist, verstärkt werden kann. Andererseits ist durch die Erfindung auch in dieser Konfiguration eine weitgehende Entkopplung der Einzelprozesse erzielbar, soweit es für die hybride Prozeßwirkung wünschenswert ist.

5

Bezugszeichenliste:

10

- 10 Vorrichtung
- 12 erster Pulsgenerator
- 14 zweiter Pulsgenerator
- 16 Synchronisator
- 15 18 Regler
- 20 erste Quelle
- 22 zweite Quelle
- 24 Prozess

5

Patentansprüche:

1. Verfahren zur Bearbeitung von Werkstoffen durch Kombi-  
nieren eines Bearbeitungswerkzeugs mit mindestens einem  
10 weiteren Bearbeitungswerkzeug, wobei mindestens ein Be-  
arbeitungswerkzeug Laserstrahlung verwendet, **dadurch  
gekennzeichnet**, daß eine synchronisierte Modulation  
des einen Bearbeitungswerkzeugs bei der Kombination mit  
dem ebenfalls pulsmodulierten weiteren Bearbeitungswerk-  
15 zeug durchgeführt wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**,  
daß das eine Bearbeitungswerkzeug und das mindestens ei-  
ne weitere Bearbeitungswerkzeug mit gleicher oder mit  
20 relativ zueinander ganzzahlig vielfacher Pulsfrequenz  
moduliert werden und ihre Pulsmodulationen in einer fe-  
sten oder variabel gesteuerten oder geregelten Phasenbe-  
ziehung stehen.
- 25 3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekenn-  
zeichnet**, daß die Pulssteuersignale mindestens eines  
pulsmodulierten Bearbeitungswerkzeugs als Mastersignal  
verwendet wird zur Triggerung einer synchronisierten An-  
steuerung der Pulsmodulation mindestens eines weiteren  
30 Bearbeitungswerkzeugs im Slavebetrieb.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch ge-  
kennzeichnet**, daß die Phasenbeziehung in Abhängigkeit  
von und/oder zur Beeinflussung einer oder mehrerer Pro-  
35 zeßparameter und/oder in Abhängigkeit von Sensorsignalen  
gesteuert und/oder geregelt wird.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet**, daß eine gleichphasige Synchronisation durchgeführt wird.  
5
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet**, daß eine gegenphasige Synchronisation durchgeführt wird.
- 10 7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Slavepuls am Anfang oder am Ende des Masterpulses oder umgekehrt erzeugt wird.
- 15 8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet**, daß Einzelpulse oder Pulspakete erzeugt werden.
9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, **dadurch gekennzeichnet**, daß das gegebenenfalls nicht extern ansteuerbare Bearbeitungswerkzeug der Master ist.  
20
10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, **dadurch gekennzeichnet**, daß das intern mit variabler Pulsfrequenz prozeßgeregelte Bearbeitungswerkzeug der Master ist.  
25
11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10, **dadurch gekennzeichnet**, daß das weitere Bearbeitungswerkzeug eine Lasereinrichtung und/oder eine Lichtbogenstrahlungseinrichtung und/oder eine Plasmastrahlungseinrichtung und/oder eine oder mehrere andere Energie-, Impuls- oder Teilchenquelle ist.  
30
12. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 11, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Bearbeitung von Werkstoffen aus der folgenden Auflistung auswählbar ist:  
35

- Trenn- und Abtragverfahren, insbesondere Schneiden, Bohren, Abtragen, Perforieren, Ritzen, Gravieren, Strukturieren oder Reinigen,
  - Fügeverfahren, insbesondere Schweißen, Löten oder Bonden,
  - Beschichtungs- und Aufbauverfahren, insbesondere Beschichten, Generieren, selektives Sintern oder Rapid Prototyping,
  - Oberflächenbehandlung und -Veredelung, insbesondere Härten, Umschmelzen, Legieren, Dispergieren, Polieren und Beschriften, Formen und Biegen,
- wobei die Kombination der Bearbeitungswerkzeuge derart gestaltet ist, daß ihre Wirkungsbereiche, die gegebenenfalls Wirkungen unterschiedlichster Art ausgesetzt sind, auf oder im Werkstück während des Bearbeitungsvorganges überlappen oder unmittelbar benachbart sind.
13. Vorrichtung (10) zur hybriden Bearbeitung von Werkstoffen durch ein Bearbeitungswerkzeug in Kombination mit mindestens einem weiteren Bearbeitungswerkzeug, wobei mindestens ein Bearbeitungswerkzeug Laserstrahlung verwendet, **gekennzeichnet durch** einen ersten Pulsgenerator (12) zur Modulation der Laserstrahlung, einen zweiten Pulsgenerator (14) zur Modulation des weiteren Bearbeitungswerkzeugs und durch einen Synchronisator (16) zur synchronen Modulation der Kombination.
14. Vorrichtung (10) nach Anspruch 13, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Pulsgeneratoren (12,14) und der Synchronisator (16) dazu ausgelegt sind, die Laserstrahlung und das mindestens eine weitere Bearbeitungswerkzeug mit gleicher oder mit relativ zueinander ganzzahlig vielfacher Pulsfrequenz zu modulieren, und daß die Modulationen der Pulsgeneratoren (12,14) in einer festen oder mittels eines Reglers (18) in einer variabel gesteuerten oder geregelten Phasenbeziehung stehen.

15. Vorrichtung (10) nach Anspruch 13 oder 14, **dadurch gekennzeichnet**, daß mittels mindestens einer ersten und einer zweiten Quelle (20,22) Pulssteuersignale des mindestens einen Pulsgenerators (12) als Mastersignal verarbeitbar sind zur Triggerung einer synchronen Ansteuerung der Pulsmodulation der Pulssteuersignale des mindestens einen weiteren Pulsgenerators (14) im Slavebetrieb, oder umgekehrt.
16. Vorrichtung (10) nach einem der Ansprüche 13 bis 15, **gekennzeichnet durch** Eingabeeinrichtungen für Prozeßparameter und durch Sensoren für Prozeßergebnisse zur Steuerbarkeit und/oder Regelbarkeit der Phasenbeziehung in Abhängigkeit von und/oder zur Beeinflussung eines oder mehrerer Prozeßparameter und/oder in Abhängigkeit von Sensorsignalen.
17. Vorrichtung (10) nach einem der Ansprüche 13 bis 16, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Synchronisator (16) für eine gleichphasige Synchronisation ausgelegt ist.
18. Vorrichtung (10) nach einem der Ansprüche 13 bis 17, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Synchronisator (16) für eine gegenphasige Synchronisation ausgelegt ist.
19. Vorrichtung (10) nach einem der Ansprüche 13 bis 18, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Synchronisator (16) ausgelegt ist für eine Erzeugung des Slavepulses am Anfang oder am Ende des Masterpulses.
20. Vorrichtung (10) nach einem der Ansprüche 13 bis 19, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Pulsgeneratoren (12,14) ausgelegt sind zur Erzeugung von Einzelpulsen und/oder von Pulspaketen.

21. Vorrichtung (10) nach einem der Ansprüche 13 bis 20, **dadurch gekennzeichnet**, daß die weitere Strahlung eine Laserstrahlung und/oder eine Lichtbogenstrahlung und/oder eine Plasmastrahlung und/oder eine oder mehrere andere Energie-, Impuls- oder Teilchenquelle ist.
- 5

1/2

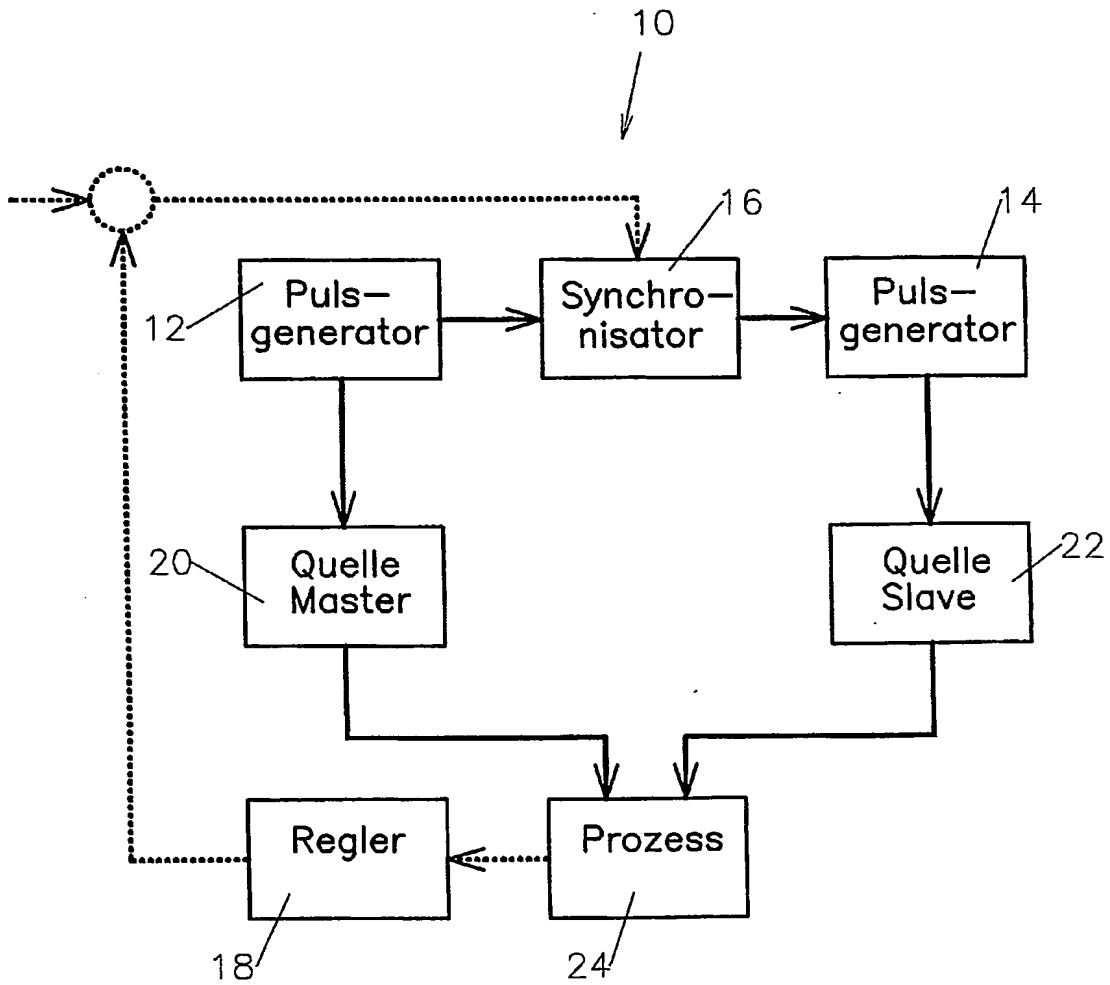


Fig.1

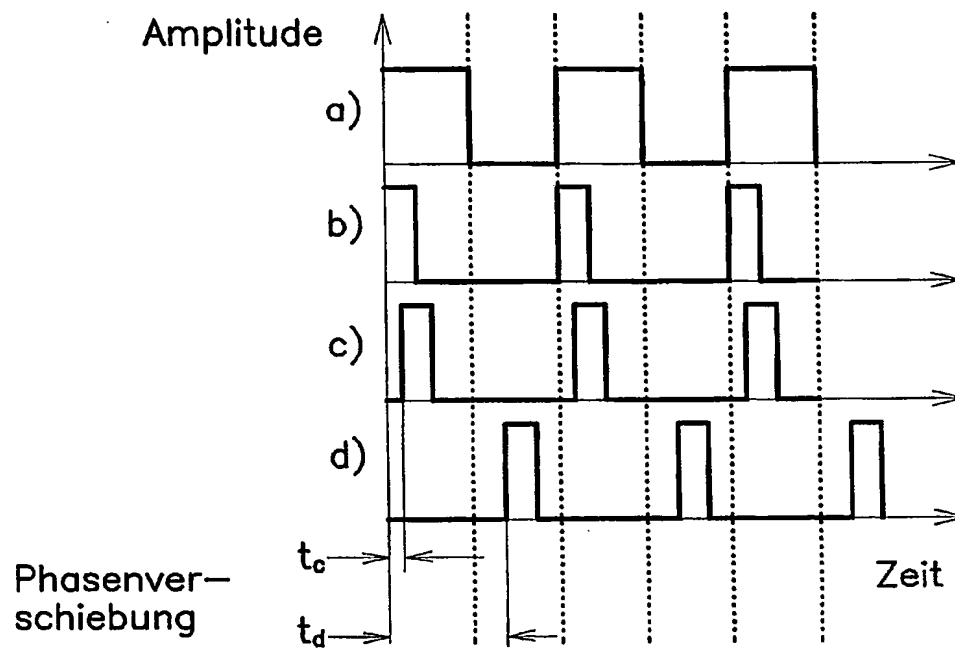


Fig.2

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Intern: Application No  
PCT/DE 03/01302

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

IPC 7 B23K26/14 B23K28/02 B23K9/095 B23K10/00 B23K10/02  
B23K26/06

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 B23K

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data, PAJ

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 4 870 244 A (J.A. COPLEY ET AL) 26 September 1989 (1989-09-26)	1-3,6-9, 11-15, 18-21
A	column 3, line 65-column 5, line 16; figures 1,4	3,4,15, 16
X	US 5 073 687 A (H. INAGAWA ET AL) 17 December 1991 (1991-12-17)	1,2,5,7, 8,11-14, 17,19-21
Y	column 9, line 7 -column 11, line 23; figures 7-11	4,16

☒ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

## \* Special categories of cited documents:

\*A\* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

\*E\* earlier document but published on or after the international filing date

\*L\* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

\*O\* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

\*P\* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

\*T\* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

\*X\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

\*Y\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

\*Z\* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

6 August 2003

Date of mailing of the international search report

20/08/2003

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Jeggy, T

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Intern: Application No

PCT/DE 03/01302

## C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X A	WO 01 05550 A (PLASMA LASER TECHNOLOGIES LTD ; I. DYNKHNO ET AL ; M.M. FRIEDMAN) 25 January 2001 (2001-01-25) page 15, line 8-11  page 18, line 1-10 page 24, line 8-15 page 28, line 20 -page 29, line 10; figures 6,7  ---	1,2,6-9, 11-14, 18-21 3,4,15, 16
X A	EP 1 166 948 A (SUMITOMO HEAVY INDUSTRIES) 2 January 2002 (2002-01-02)  paragraphs '0020!', '0022!', '0024!', '0025!', '0030!', '0034!'; figures 1-3  ---	1,2,6,8, 11-14, 18,20,21 3,4,15, 16
X	US 5 006 688 A (M.A. CROSS) 9 April 1991 (1991-04-09)  column 4, line 29-43 column 5, line 42-47; figures 3,7  ---	1,2,8, 11-14, 20,21
Y	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 008, no. 124 (M-301), 9 June 1984 (1984-06-09) & JP 59 027791 A (HITACHI SEISAKUSHO KK), 14 February 1984 (1984-02-14) abstract  ---	4,16
A	US 5 298 715 A (PANOUSIS NICHOLAS T ET AL) 29 March 1994 (1994-03-29) column 3, line 8 -column 4, line 23; figure 1  -----	1,13

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Intern: ,pplication No

PCT/DE 03/01302

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 4870244	A	26-09-1989	NONE	
US 5073687	A	17-12-1991	JP 4041091 A JP 3027885 A JP 3142087 A	12-02-1992 06-02-1991 17-06-1991
WO 0105550	A	25-01-2001	US 6388227 B1 AU 5786600 A CA 2379182 A1 EP 1212165 A1 JP 2003504213 T WO 0105550 A1	14-05-2002 05-02-2001 25-01-2001 12-06-2002 04-02-2003 25-01-2001
EP 1166948	A	02-01-2002	JP 2001347388 A CN 1332054 A EP 1166948 A2 TW 494042 B US 2001050931 A1	18-12-2001 23-01-2002 02-01-2002 11-07-2002 13-12-2001
US 5006688	A	09-04-1991	NONE	
JP 59027791	A	14-02-1984	NONE	
US 5298715	A	29-03-1994	NONE	

## INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Inten Aktenzeichen

PCT/DE 03/01302

## A. KLASIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES

IPK 7 B23K26/14 B23K28/02 B23K9/095 B23K10/00 B23K10/02  
B23K26/06

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

## B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierte Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)

IPK 7 B23K

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, WPI Data, PAJ

## C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	US 4 870 244 A (J.A. COPLEY ET AL) 26. September 1989 (1989-09-26)	1-3,6-9, 11-15, 18-21
A	Spalte 3, Zeile 65 -Spalte 5, Zeile 16; Abbildungen 1,4	3,4,15, 16
X	US 5 073 687 A (H. INAGAWA ET AL) 17. Dezember 1991 (1991-12-17)	1,2,5,7, 8,11-14, 17,19-21
Y	Spalte 9, Zeile 7 -Spalte 11, Zeile 23; Abbildungen 7-11	4,16
	---	
	-/--	

☒ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen☒ Siehe Anhang Patentfamilie

\* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

\*A\* Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

\*E\* älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

\*L\* Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

\*O\* Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

\*P\* Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

\*T\* Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

\*X\* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

\*Y\* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann nahelegend ist

\*&amp;\* Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

6. August 2003

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

20/08/2003

Name und Postanschrift der internationalen Recherchenbehörde

Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Jeggy, T

## INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Intern : Aktenzeichen

PCT/DE 03/01302

C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X A	WO 01 05550 A (PLASMA LASER TECHNOLOGIES LTD ; I. DYNKHNO ET AL ; M.M. FRIEDMAN) 25. Januar 2001 (2001-01-25) Seite 15, Zeile 8-11  Seite 18, Zeile 1-10 Seite 24, Zeile 8-15 Seite 28, Zeile 20 -Seite 29, Zeile 10; Abbildungen 6,7 ----	1,2,6-9, 11-14, 18-21 3,4,15, 16
X A	EP 1 166 948 A (SUMITOMO HEAVY INDUSTRIES) 2. Januar 2002 (2002-01-02)  Absätze '0020!,'0022!,'0024!,'0025!,'0030!,'0034!; Abbildungen 1-3 ----	1,2,6,8, 11-14, 18,20,21 3,4,15, 16
X	US 5 006 688 A (M.A. CROSS) 9. April 1991 (1991-04-09)  Spalte 4, Zeile 29-43 Spalte 5, Zeile 42-47; Abbildungen 3,7 ----	1,2,8, 11-14, 20,21
Y	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 008, no. 124 (M-301), 9. Juni 1984 (1984-06-09) & JP 59 027791 A (HITACHI SEISAKUSHO KK), 14. Februar 1984 (1984-02-14) Zusammenfassung ----	4,16
A	US 5 298 715 A (PANOUSIS NICHOLAS T ET AL) 29. März 1994 (1994-03-29) Spalte 3, Zeile 8 -Spalte 4, Zeile 23; Abbildung 1 -----	1,13

## INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internal : Aktenzeichen  
PCT/DE 03/01302

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
US 4870244	A	26-09-1989	KEINE		
US 5073687	A	17-12-1991	JP	4041091 A	12-02-1992
			JP	3027885 A	06-02-1991
			JP	3142087 A	17-06-1991
WO 0105550	A	25-01-2001	US	6388227 B1	14-05-2002
			AU	5786600 A	05-02-2001
			CA	2379182 A1	25-01-2001
			EP	1212165 A1	12-06-2002
			JP	2003504213 T	04-02-2003
			WO	0105550 A1	25-01-2001
EP 1166948	A	02-01-2002	JP	2001347388 A	18-12-2001
			CN	1332054 A	23-01-2002
			EP	1166948 A2	02-01-2002
			TW	494042 B	11-07-2002
			US	2001050931 A1	13-12-2001
US 5006688	A	09-04-1991	KEINE		
JP 59027791	A	14-02-1984	KEINE		
US 5298715	A	29-03-1994	KEINE		

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☐ FADED TEXT OR DRAWING
- ☒ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**